

## 論文

## 에탄올 혼합비에 따른 3중 충돌형 인젝터의 분무특성

이인철\*, 김종현\*\*, 구자예\*\*\*

Effects of Ethanol Mixing Ratio on Spray Characteristics  
of Triplet Impinging Injector

In-chul Lee\*, Jong-hyun Kim\*\*, Ja-ye Koo\*\*\*

## ABSTRACT

Spray characteristics of a unlike triplet injector were investigated experimentally. Spray images and SMD of droplet were measured to evaluate the spray characteristics injected by liquid/gas combinations. G-L-G(Gas-Liquid-Gas), L-G-L(Liquid-Gas-Liquid) type of injector were used by changing the gas and liquid feed lines. The SMD graph shows that the droplet sizes decrease in the out of radial direction at a fixed gas Reynolds number. The SMD value of decreasing tendency shows that the more ethyl alcohol ratio increase, the more SMD value decrease.

Key Words : Triplet impinging injector(3중 충돌형 인젝터), Impinging angle(충돌각), Impinging distance(충돌거리), L-G-L(Liquid-Gas-Liquid), G-L-G(Gas-Liquid-Gas), SMD(sauter mean diameter)

## 1. 서 론

액체로켓 엔진에서 산화제와 연료의 미립화 및 효율적인 혼합을 위해 인젝터의 설계가 중요하며 안정적인 연소를 통해 주요 구성품에 대한 내구성을 지니도록 설계해야한다. 최근의 인젝터 설계 경향은 질량분포, 혼합비, 액적분포 특성에 대한 연구이며, 충돌형 인젝터에 대한 연구는 1950년대부터 꾸준히 진행되어 왔다[1]. 하지만 연소실 내의 열전달, 화학반응, 내부 유동 등이 복합적으로 관여하기 때문에 CFD와 실제 실험의 결과와는 상당한 차이를 보이며 결국 실제 연소 실

험으로 정확한 데이터를 도출하여 설계에 반영한다. 효과적이고 안정된 연소를 위한 액체 로켓에 사용되는 인젝터는 연소실 내에 추진제와 산화제를 분포시키는 역할을 수행하므로 연소 성능에 중요한 영향을 준다. 따라서 안정된 분무를 위해 충돌형 인젝터와 스월 인젝터를 사용하고 있다. 충돌형 인젝터의 경우 재생 냉각을 거친 연료와 산화제를 충돌시켜 사용한다. 하지만 충돌형 인젝터는 높은 압력을 필요로 하지 않고, 가공이 용이하며 장치가 비교적 간단하고 비용이 비교적 많이 들지 않는다는 장점이 있지만 잘못된 인젝터 설계로 인하여 미립화 성능과 연소 불안정성에 대하여 민감하게 반응하는 단점이 있다[2].

충돌형 인젝터에서는 이중, 삼중 충돌형 인젝터가 사용되며 초기의 충돌각은 30~90°로 충돌되어 액막이 발생된 후에 분열되어 액적이 형성된다. 또한 산화제와 연료의 분사압력에 따라서 충돌후의 분무각이 변하며 분사 압력이 증가함에 따라서 충돌하는 운동량의 증가로 인하여 수 초 이내에 표면 장력과 관성력의 균형이 불안정해지

2007년 09월 20일 접수 ~ 2007년 10월 24일 심사완료

\* 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

\*\* 경원전문대학교

\*\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

연락처, E-mail : jykoo@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

며 미립화된 액적을 형성하게 된다[3]. 이러한 분열 과정은 분사압력, 오리피스 직경, 오리피스 길이, 충돌거리 등 인젝터의 여러 변수에 의해 분무의 미립화 특성을 지배하게 된다. 추진기관에 국한하여 현재까지 사용된 여러 종류의 인젝터 중에서 FOF(fuel-oxidizer-fuel)형 3중 충돌형 인젝터(Unlike Triplet Injector)는 엔진 시스템 제작의 경제성과 같은 장점으로 인하여 자주 사용되지만 기체와 액체 사이의 운동량 교환이 작기 때문에 기화 효율이 떨어지는 단점이 있다.

거시적인 분무 특성으로는 분무의 형상, 분무각, 분열길이, 추진제의 질량분포 등이 있으며 미시적인 분무 특성으로는 분무액적의 평균크기, 분포 등으로 나눌 수 있다[4]. 그리고 최근 들어 추진제의 유량, 속도비, 압력비 등의 인젝터의 분사조건을 바꾸지 않고서도 특정한 분무 특성을 조절할 수 있는 새로운 방법들이 연구되고 있다.

Taylor는 낮은 분사 속도에서는 두 제트의 충돌시 형성되는 액막을 교란시키는 요인이 없다고 가정하고 분사된 액체제트가 충돌하여 형성되는 액막의 두께와 모양을 이론적으로 계산하였다[5].

Hedimann은 노즐 직경, 액체 제트의 속도, 충돌거리, 충돌각 등의 효과가 충돌시에 어떠한 특성을 나타내는가에 대하여 연구하였으며, 점성과 표면장력에 대한 여러 추진제를 사용하여 실험하였다. 혼합 효율의 경우는 압력차를 증가시키거나 충돌각을 크게 하여 개선할 수는 있으나 충돌각을 조절하는 것이 더욱 효과적임을 밝혔다. 충돌각을 크게 할 경우, 후류로 인하여 노즐에 손상을 가져올 수 있는데, 이는 충돌거리를 증가시킴으로서 조절할 수 있다고 연구하였다[6]. 대부분의 분사된 액체의 질량은 분무장 중앙에 집중되어 있고 기체와 액체의 혼합 효율을 낮게 함으로써 연소 효율을 감소시킬 수 있으며 특히 인젝터로부터 가까운 거리에서는 전체 분무장에 대하여 유량의 절반가량이 분무장 중심에 집중되어 있다[7].

Bazarov는 분무 채집장치, PDPA 등을 사용하여 액적의 반경방향 위치에 따른 분무 플럭스와 SMD 등을 측정하였으며 인젝터에 대한 안정성도 해석하였다[8].

본 연구는 물과 에탄올이 혼합된 3중 충돌형 인젝터의 분무 특성을 미시적 및 거시적 관점에서 비교·분석하는 것이며 연구 결과는 주어진 인젝터에서 연소실 형상의 최적화와 산화제-연료 공급압 조절을 결정하는 기본적인 자료로 사용될 것으로 판단된다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험 가정 및 조건

실험실내의 온도를 평균 293.16K(20℃), 습도를 50%로 가정하였고 액체 제트에 작용하는 중력의 영향은 무시하였으며 실험 조건에 대한 물과 에탄올의 물성치(property)를 Table 1에 나타내었다.

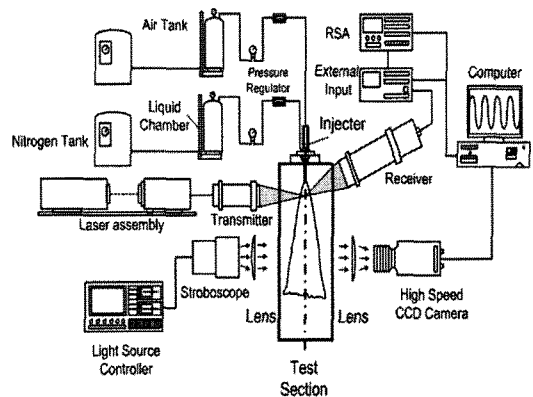


Fig. 1 Schematic of injector system

Table 1 Test environment conditions

Parameter	Water	Ethyl alcohol
Density, kg/m <sup>3</sup>	997	806
Surface tension, N/m	0.0727	0.0240
$We_{liquid} (\times 10^3)$	2.4~22	0.4~1.4
$Re_{air} (\times 10^5)$	1.7~3.1	
Air at 98.9 kPa and 298k ; $\rho_g = 1.18 \text{ kg/m}^3, \mu_g = 18.5 \times 10^{-6} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$		

전체적 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같고 CCD 카메라를 이용하여 얻은 이미지로 산화제 압력 변화에 따른 분무형상, 분무각 등을 분석하였으며, PDPA를 이용하여 SMD를 측정하였다. PDPA는 단일 액적에 대해서는  $\pm 5\%$ 의 정확도를 나타내고 액적이 구형의 경우에는 그 정확도가 향상된다. PDPA는 점 측정(probe point measurement) 방식으로서 전체적인 분무 특성을 파악하기에는 적절치 않은 장비이기 때문에 한번 분무하여 특정 지점에서의 정량적인 측정해야하

는 단점이 있다. 산화제와 추진제 대신에 물과 공기를 이용하였으며 액체의 경우에는 고압용기에 물을 넣고 질소를 가압하는 가압방식을 사용하였다. 미립화된 액체 제트의 특성을 파악하기 위하여 약 12000개 이상의 액적 데이터를 수집하였으며 이러한 데이터를 바탕으로 분무 액적의 SMD를 나타내었다. 실제 액체로켓 연소기에서 고온 고압 조건에서는 액적은 매우 빠른 속도로 기화하기 때문에 층돌형 인젝터의 성능을 해석함에 있어서 분무된 액체 제트의 특성을 파악하는 것은 매우 중요하다.

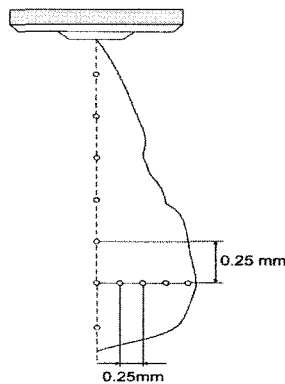


Fig. 2 PDPA probe measuring point.

실험에 사용된 층돌형 인젝터의 층돌각은  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ 이며 물과 공기의 분사압력을 0.1 MPa ~ 0.5 MPa로 주어 실험하였다. 층돌로 인해 발생한 액적들의 데이터를 얻기 위해 PDPA 측정지점을 3 cm로 하고 반경방향으로 측정하였다. 이미지를 얻기 위한 장치는 점광원의 효과를 나타내기 위해 편 홀의 직경을 1 mm로 하였으며, 플래쉬 램프에서 발생된 빛은 편 홀을 통과하여 평판형 볼록렌즈를 지난 후 평행 광을 이루고 가압 챔버를 지나 카메라 렌즈로 들어가게 된다.

## 2.2 인젝터 형상 및 실험 조건 변수

Fig. 3은 인젝터의 단면 형상이며 그림과 같이 3중 층돌형 인젝터는 오리피스가 3개로 L-G-L 인젝터에서는 보통 액체가 공급되는 양 측면 오리피스의 직경은 1.1 mm이고 기체가 들어가는 중앙 오리피스의 직경은 0.9 mm이다. G-L-G 인젝터에서는 기체와 액체의 공급라인을 서로 맞바꾸어 공급한다.

$m$ ,  $\rho$  는 각각 연료 또는 산화제의 유량과 밀

도이다.  $C_d$ (discharge coefficient)는 직경 0.9 mm 오리피스에서 0.75이고, 직경 1.1 mm 오리피스에서는 0.78 이다.

대부분 액체추진 로켓의 인젝터 직경은 0.5~3.0 mm 이고  $L_{fs}/D_{ori}$ ( $L_{fs}$  = liquid jet length,  $d_{ori}$  = orifice diameter)가 5 이하이면 횡단류, 후류 등의 영향으로 오리피스 형상 분사제트가 역류하여 인젝터 표면에 손상을 입힐 수 있으며, 10 이상이면 제트유동이 서로 불일치하여 균일한 혼합기 생성에 나쁜 영향을 준다.<sup>(1)</sup>

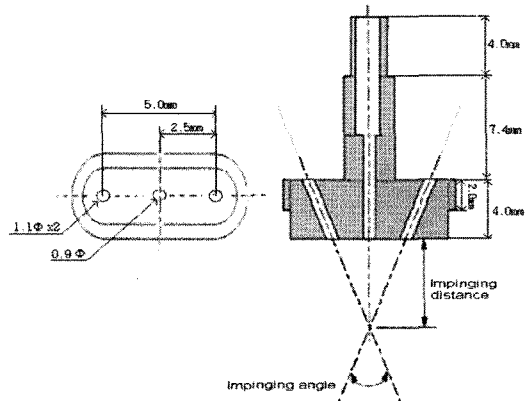


Fig. 3 Schematic of Injector

Table 2 Design Parameters of Injector

특성 \ 노즐 No	No.1	No.2
$L_{ori} / d_{ori}$ (D=1.1 mm hole)	4.09	4.09
$L_{ori} / d_{ori}$ (D=0.9 mm hole)	7.77	4.44
orifice length(mm) at D=1.1 mm	4.5	4.5
orifice length(mm) at D=0.9 mm	7	4
Impinging distance(mm)	6.0	6.0
Impinging angle ( $^\circ$ )	60	30

$L_{ori}$  = orifice length

$d_{ori}$  = orifice diameter

로켓 및 항공용 엔진의 응용 분야에서 사용되는 저점도의 연료는 액체제트의 분열과정에 있어서 매우 중대한 영향을 미치는데 이중 표면장력과 공기역학적 힘이 관여하게 된다. 웨버수는 액체 또는 액적의 분열에 대한 경향성을 나타내는 무차원화된 수로서 사용되어진다.

$$We_l = \frac{\rho_l v_l^2 d_o}{\sigma_l} \quad , \quad Re_{air} = \frac{\rho_a v_a d_a}{\mu_a} \quad (1)$$

또한 인젝터의 분무 특성 변수로서 운동량비를 사용하는데 운동량비(momentum ratio, MR)는 운동량비가 1일 때에 가장 이상적인 효율로 혼합이 이루어지나 운동량비가 0.3~0.7의 범위에서 최대의 혼합효율을 얻을 수 있으며 충돌각을 고려할 경우 충돌각 45°에서 최대 혼합효율을 나타낸다.<sup>(9)</sup>

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 인젝터의 분무특성

Fig. 4와 5는 일정한 물, 공기의 분무 압력에 대한 충돌후의 분무각을 무차원화된 레이놀즈수와 웨버수로 나타낸 것이다. 충돌형 인젝터는 액주가 충돌후 액막으로 분열되고 다시 액막이 떨어져나와 액적으로 분열되는 과정을 거친다. 이러한 분열 과정은 양쪽의 오리피스에서 분사되는 분사 제트의 웨버수에 따른 특성과 공기의 레이놀즈수에 따른 충돌력에 따라 서로 다른 경향성을 나타낸다. Fig. 4의 그래프는 공기의 레이놀즈수를 일정하게 유지시켰을 때의 충돌각 60°와 30° 노즐의 분무각이며 액체 제트의 웨버수를 증가시키면 분무각이 점차 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 그러나 G-L-G형의 경우 액체 제트의 웨버수가 증가할 때 분무각에 대한 증가량은 크지 않으며 액체 제트의 웨버수를 증가시킬 경우 분무 가장자리에는 초기에 미립화된 액적들 때문에 분무각은 다소 증가하며 수직성분의 액체제트 운동량이 공기에 비해 상대적으로 크기 때문에 중심부에는 많은 양의 액체 제트가 집중된다. 즉 G-L-G 형에서는 액체제트의 증가하는 웨버수에 대하여 분무각의 변화가 크지 않다.

충돌각 30°의 경우 공기 제트의 레이놀즈수를 일정하게 유지시키고 액체제트의 웨버수를 증가시킬수록 분무각은 증가하지만 분무각의 증가 정도는 크지 않으며 액체 제트가 중심에 집중된다. 액체 제트와 공기 제트가 충돌 후에 분무각이 증가하는 이유는 충돌 후 액주, 액막이 분열된 후 미립화된 액적들이 반발력에 의해서 양쪽으로 퍼지기 때문이다. 그러나 충돌각 30°의 경우는 액체제트의 웨버수가 증가해도 분무각의 증가량은 크지 않으며 중심에 액체 제트가 집중되는 비효율적인 현상을 보이게 된다. 이러한 현상은 충돌점을 중심으로 분무가 집중되고 퍼져나간다는 사

실을 알려준다. 또한 이러한 비효율적인 집중 현상은 실제 연소시 연료와 공기와의 혼합효율을 감소시켜 연소효율을 저감시킬 것이다.

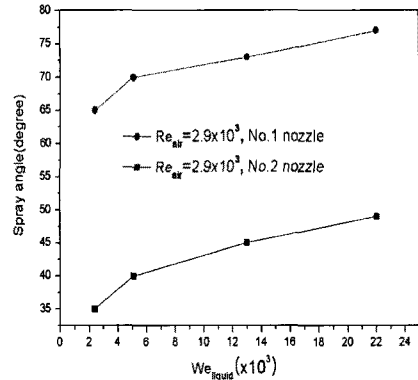


Fig. 4 Spray angle of G-L-G type graph under constant air pressure.

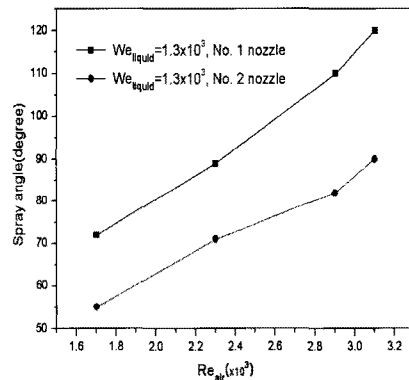


Fig. 5 Spray angle of L-G-L type graph under constant liquid pressure.

Fig. 5는 일정한 액체제트의 웨버수에 대해 공기의 레이놀즈수를 변화시켜가며 측정한 분무각의 그래프이다. L-G-L 형에서는 양쪽에서 충돌하는 액체 제트와 공기 제트가 충돌하여 더 큰 분무각을 나타내게 된다. 공기의 레이놀즈수가 증가할수록 양쪽에서 충돌하는 액체제트와의 충돌량을 증가시켜 분무각을 더 크게 만든다. 또한 양쪽에서 충돌하여 분열된 액체 제트를 넓은 각도로 퍼지게 분산시켜 주는 역할도 하게 된다. 충돌각 30°의 노즐에서는 충돌각 60°의 노즐 보다 분무각이 작게 나오는 것을 관찰할 수 있는데 그 이유는 충돌각 30°의 노즐에서는 우선 충돌각이 적어 충돌각 60°의 보다 충돌량이 적어지기

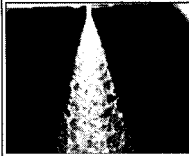
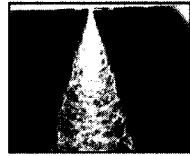
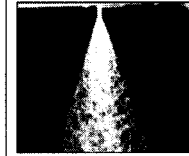
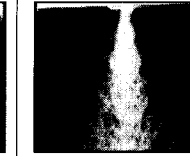
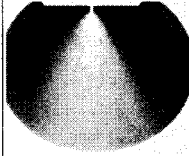
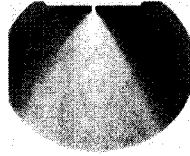
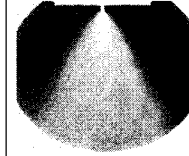
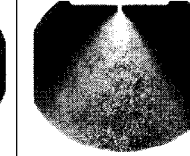
$Re_{air} = 2.9 \times 10^3$ constant	$We_{liquid} = 2411$	$We_{liquid} = 5162$	$We_{liquid} = 13100$	$We_{liquid} = 22955$
Impinging angle 30° Impinging distance 6 mm L-G-L type				
$Re_{air} = 2.9 \times 10^3$ constant	$We_{liquid} = 466$	$We_{liquid} = 682$	$We_{liquid} = 1087$	$We_{liquid} = 1439$
Impinging angle 30° Impinging distance 6 mm L-G-L type				

Fig. 6 Spray photos of water and ethyl alcohol 100% at L-G-L type nozzle

때문이다. 충돌량이 적으면 액체제트를 분열할 수 있는 에너지가 적기 때문에 그만큼 미립화된 액적들을 생성시키기 어렵다.

Fig. 6은 충돌각 30°의 L-G-L형 노즐을 사용한 분무 이미지이다.  $We$  수가 증가할수록 액체 제트는 중심에 집중되며 분무 양쪽에서 분무되는 미립화 정도는 동일하게 관찰된다. 충돌각 60°의 노즐과 비교했을 때 충돌각 30°의 노즐은 분무각이 크지 않다. 그 이유는 충돌각 60°의 노즐은 액체제트끼리 충돌된 반발력으로 인하여 충돌각 30°보다 양쪽으로 퍼지는 분무가 많아지기 때문이다. 이러한 현상은 연소효율에 가장 큰 영향을 미치는 연료의 공간분포 특성을 고려하였을 때 비효율적인 현상이 될 수 있다. G-L-G형에서는 액체제트가 중앙에서 분사되기 때문에 일정한 공기 유량에 대해서 액체제트가 더 이상의 분열을 진행하지 않고 중심으로 분사된다. L-G-L형의 노즐에서는 중앙에서 나오는 공기 제트의 레이놀즈수가 증가할수록 미립화 과정이 활발해진다. 분무 중심지역은 공기와의 충돌 때문에 질은 밀도를 지니지만 분무 외곽 영역은 분무 중심보다는 미립화되지 않고 큰 액적이 분포하게 된다.

충돌각 60°를 갖는 L-G-L형 인젝터에서는 공기의 레이놀즈수가 증가할수록 분무각이 증가하는 것을 볼 수 있으며 30°의 충돌각을 갖는 노즐보다는 분무각이 증가하게 된다. G-L-G형에서 공기의 유량이 증가할수록 분무각은 L-G-L형보다 커지게 되며 충돌각 30°를 갖는 L-G-L형 노즐에서는 액체 제트의 웨버수가 커짐에 따라서 충돌각 60°의 노즐과 같이 분무 중심에 액체 제트가 집중된다. 이러한 노즐에서 액체 제트의 집중 현상을 막기 위해서 공기의 레이놀즈수를 증가시켜주면 미립화도 활발해지고 분무각도 커지

는 이미지를 관찰할 수 있다. 또한 웨버수가 증가할수록 액체 제트는 더욱더 미립화되는데 공기를 첨가한 것보다는 정도가 덜하며 분무각은 약간 증가하는 경향성을 보이게 된다. 이는 충돌각 60°를 갖는 G-L-G형의 노즐과는 다른 경향성은 나타낸다. 충돌각 60°를 갖는 G-L-G형 노즐에서 공기의 유량이 증가하게 되면 양쪽에서 나오는 공기제트와 중심에서 분사되는 액체 제트가 충돌 후에 가장 좋은 미립화 특성을 보이며 분무각도 커지게 된다. 그리고 충돌각 30°의 노즐도 같은 경향성을 보이지만 분무각, 미립화 정도는 충돌각 60°보다는 적다. L-G-L형 인젝터에서도 동일하게 공기의 레이놀즈수 증가와 액체 제트의 웨버수 증가로 인하여 분무각이 커지게 된다. 즉, 분무의 미립화 과정은 액체제트의 충돌, 액체 제트와 기체 제트의 충돌로서 이루어지며 각 제트의 유량, 물성치, 충돌각, 충돌거리 등의 변수에 의해서 지배된다고 볼 수 있다.

에탄올 100%에서 공기 제트의 레이놀즈수를 일정하게 하고 액체 제트의 웨버수를 변화시켜가며 분무 이미지를 분석한 결과 L-G-L형의 특성상 액체 제트의 웨버수가 증가하면 분무는 중심에 집중되게 된다. 그림과 같이 웨버수가 증가할수록 분무 중심에 큰 액적들이 보이며 가장자리에는 미립화된 액적들이 분포하게 된다. L-G-L형에서 에탄올의 분무 형상은 물의 분무 형상과는 다르게 더욱더 미립화된 액적들이 보이며 중심에 분열되지 않은 에탄올이 보이는 것을 관찰할 수 있다. 즉 에탄올의 경우 증가하는 웨버수에 대하여 분무 양쪽에 미립화된 액적들이 존재하여 분무 중심에는 상대적으로 분무 외곽 영역보다 미립화 되지 않은 액적들이 존재하게 된다. 그리고 물의 경우는 웨버수가 증가함에 따라 분무 외곽

$Re_{air} = 2.9 \times 10^3$ constant	Water 100%	Ethyl alcohol 30%	Ethyl alcohol 100%
Impinging angle 30° Impinging distance 6 mm L-G-L type (90° different angle)			
$Re_{air} = 2.9 \times 10^3$ constant	Water 100%	Ethyl alcohol 30%	Ethyl alcohol 100%
Impinging angle 30° Impinging distance 6 mm L-G-L type			

Fig. 7 Spray photos of various ethyl alcohol ratio at L-G-L type nozzle

영역은 미립화 정도가 균일하게 보이며 분무 중심에 미립화된 액체 제트가 집중되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7은 물과 에탄올의 혼합에 따른 분무 이미지를 나타낸 그림이며 공기의 레이놀즈수와 액체 제트의 웨버수만을 변화시켰다. 전체적인 그림을 보았을 때 에탄올의 혼합비가 증가할수록 에탄올의 분무가 미립화된 것을 관찰할 수 있다. 에탄올은 충돌 거리가 6.0 mm 이며 충돌각은 30° 이다. 90° 측면에서 보았을 때 에탄올 액체 제트 끝의 충돌점이 보이며 그 충돌 지점에서 공기 제트가 재 충돌한다. 충돌점이 보이는 그림으로는 에탄올 액체제트의 미립화 과정을 확연히 관찰할 수 없으며 그 반대 방향의 이미지로 확인할 수 있다. 순수한 물의 경우 충돌각 30° L-G-L 노즐에서 분무 중심에 미립화되지 않은 큰 액적들이 보이며 에탄올 30%의 경우에는 물보다는 중심 지역의 밀도가 길어져 분무가 미립화된 것을 확인할 수 있다. 에탄올 100%의 경우에는 에탄올 30% 보다는 미립화가 더욱더 활발하며 분무된 이미지를 관찰했을 때 액적들이 미립화되어 짙은 밀도를 보인다. 에탄올은 표면장력이 물의 표면장력보다 약 3배 정도 작기 때문에 초기에 액주끼리의 충돌에서 물보다는 활발한 미립화 과정을 보인다.

Fig. 8은 일정한 공기의 레이놀즈수에서 액체 제트의 웨버수 변화에 따른 분무 반경방향의 SMD를 나타낸 그래프이다. 순수한 물일 경우 평균 SMD는 81.21 μm 이며 반경방향으로 갈수록 SMD가 작아지는 경향을 보인다. 최대 SMD는

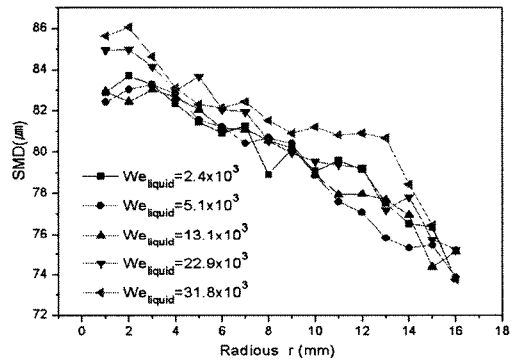


Fig. 8 Radial direction SMD graph to 0% ethyl alcohol ratio at spray down-stream 3cm

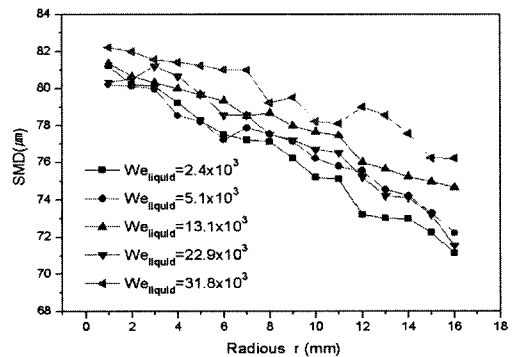


Fig. 9 Radial direction SMD graph to various 30% ethyl alcohol ratio at spray down-stream 3cm

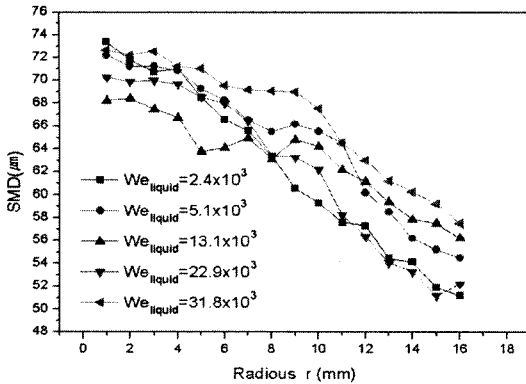


Fig. 10 Radial direction SMD graph to various 100% ethyl alcohol ratio at spray down-stream 3cm

86 $\mu\text{m}$ 이며 최저 SMD는 74  $\mu\text{m}$ 로 나타난다.

Fig. 9는 30%의 에탄올을 혼합한 경우에 분무 반경 방향의 SMD이다. 최대의 SMD는 83  $\mu\text{m}$ 이며, 최저 SMD는 72 $\mu\text{m}$ 이다. 평균 SMD는 77.5  $\mu\text{m}$ 이며 표면장력의 물성치가 바뀌었기 때문에 물의 경우보다 SMD가 작아진 것을 알 수 있다. Fig. 10은 에탄올 100%일 때의 반경방향 SMD 그래프이다. 에탄올의 표면장력은 물의 경우보다 약 3배 적기 때문에 분사된 에탄올 제트는 빠른 분열을 일으키게 된다. 최대 SMD는 74 $\mu\text{m}$ 이며 최저 SMD는 50 $\mu\text{m}$ 이 된다. 에탄올의 혼합비율이 커질수록 액적이 미립화되는 것을 이미지로 관찰할 수 있으며 또한 PDPA 측정결과 에탄올의 혼합비율이 많아질수록 SMD가 작아지는 것을 그래프로 관찰할 수 있다.

#### 4. 결론

에탄올과 물의 혼합비, 액체 제트의 웨버수, 공기 제트의 레이놀즈수를 변화시켜가며 3중 총돌형 인젝터의 분무 특성을 실험하였다. 액체와 기체의 공급 라인을 변화시켜가며 실험하였으며, 분무 이미지를 획득하여 미립화정도, 분무각을 연구하였다. 또한 PDPA를 이용하여 분무 3cm 하류에서 반경방향에 따른 분무의 SMD를 측정하였다.

1. 액체 제트의 웨버수에 따른 압력변화 조건에서 총돌각이 클수록 분무각도 커지며 G-L-G형의 일정한 기체 압력 조건에서 액체 압력을 높이면

분무각이 최대 10~20° 증가한다. 그리고 기체의 압력을 높이면 액체 제트를 분열시키는 총돌 운동량이 증가하여 분무각이 더 커지게 된다. 총돌각이 너무 작으면 유량의 집중현상이 일어나게 되며 또한 G-L-G 형에서 액체 제트의 웨버수가 커지면 분무 중심에 분무가 집중되는 비효율적인 현상을 보인다. 이러한 분무 집중 현상은 실제 연소시에 연소효율을 저감시키는 요인이 된다. 따라서 연소 효율의 향상을 위해서는 G-L-G형에서 액체 제트의 웨버수를 낮추고 기체 제트의 레이놀즈수를 적절히 조절해야 한다.

2. L-G-L형 인젝터에서 에탄올이 100% 혼합되면 경우에 액체 제트의 웨버수가 증가 할수록 가장자리 영역의 분무는 미립화가 활발하지만 중심 영역의 분무는 상대적으로 미립화되는 양이 적어진다.

3. 분사된 액체 제트는 총돌점을 중심으로 집중되어 있기 때문에 이러한 집중현상은 공기와의 혼합특성을 감소시켜 효율을 저하시킬 수 있으며 L-G-L, G-L-G형의 인젝터 선정 및 총돌각, 분사 압력등의 조절을 통하여 최적의 미립화 특성을 만들 수 있다.

4. 총돌압에 따른 전체적 분무 형상은 타원형으로 볼 수 있으며 중심 영역에 분무 집중되는 현상을 보였다.

5. 분무 3cm의 하류에서 PDPA를 이용하여 반경방향으로 진행하며 SMD를 측정한 결과 에탄올의 혼합 정도가 많아질수록 SMD의 감소 비율은 커지며 또한 에탄올의 혼합 정도가 많아질수록 표면장력의 영향으로 SMD가 작아지는 결과를 관찰할 수 있다.

#### 후 기

본 연구는 2006년도 한국항공대학교 교비 연구비 지원으로 수행된 연구 결과의 일부이며 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

[1] "Liquid Rocket Engine Injectors," Space Vehicle Design Criteria, NASA SP8089, 1976, pp. 1-81.

- [2] V Yang, "Liquid Rocket Engine Combustion Instability," Pennsylvania State University, AIAA, 1955, pp. 11-50.
- [3] Dombrowski, N., and Hopper P. C., "A study of the Sprays Formed by Impinging Jets in Laminar and Turbulent Flow," J. Fluid Mech, Vol. 18, Pt. 3, 1964, pp. 392-400.
- [4] Bayvel, L., and Orzechowski, Z., Liquid Atomization, Taylor & Francis, 1993.
- [5] Taylor, G. I., "Formation of Thin Flat Sheets of Water," Proceedings of the Royal Society of London, A., Vol. 259, pp. 1-17, 1960.
- [6] Heidmann, M. F., Priem, R. J., and Humphery, J. C., "A Study of Sprays formed by two Impinging Jets," NACA Technical Note 3855, March. 1957.
- [7] 정 기훈, 윤 영빈, 황 상순, "이미지 기법을 이용한 충돌분사 인젝터의 분무분포 특성에 관한 실험적 연구," 한국액체미립화학회 학술강연회, 2000.
- [8] M. R. Long, V. G. Bazarov, and W. E. Anderson , "Main Chamber Injector for advanced Hydrocarbon Booster Engines", AIAA paper 2003-4599, AIAA/SAME/SAE/ASEE 39th Joint Propulsion Conference and Exhibit, 2003.
- [9] 권 순탁, 이 창진, 김 승환, 한 영민, "가스발생기용 F-O-F 충돌형 인젝터 분사특성," 한국항공우주학회지, 제33권 1호, 2005, pp. 62-68.